第二節　塑膠布溫室與遮雨棚

陳　加　忠

一、塑膠布溫室

早期塑膠布溫室以鐵材、木材為骨架，利用單層塑膠布為覆蓋材料，結構簡易，成本低廉。覆蓋材質容易更換，又可因地形環境搭蓋成各種形狀。因覆蓋材料更換容易，可依作物之生長需求以配合各種被覆材質。傳統塑膠在溫室其主要缺點為結構強度不足，近年來因材料之進步，配合利用輕型鋼材為骨架，增加混凝土地基之塑膠布溫室已可克服結構問題，因此在國內逐步採用。

歐美國家之塑膠布溫室在溫帶地區之結構主要以緊密型雙層塑膠布覆蓋材料為主，利用雙層之良好熱絕緣性以進行保溫作業。在歐洲地中海沿岸國家之塑膠布溫室則以開放，高架為主。

雙層塑膠布溫室之特點在於利用空氣之良好絕緣能力，以減少溫室內部熱量因熱傳作用向大氣逸失。進行施工時，在雙層塑膠布之間加壓空氣，以確實隔離雙層塑膠布，此型溫室主要利用於歐洲北部與北美洲東北地區。

開放高架之溫室係將結構加高，以單層塑膠在構成密閉屋頂，配合固定之季風，因此減少室內熱累積。

近年來荷蘭溫室公司其興建之塑膠布溫室之主要型式如下：

㈠鋸齒式溫室

此種溫室係為高溫氣候設計，屋頂成鋸齒狀，開口背向當地固定風向，便於利用靜壓作用進行自然通風以移久內部熱量，在鋸齒屋頂之開口裝置電動馬達進行環控。內部結構係利用鍍鋅鋼材，屋頂與四壁利用抗紫外線之塑膠材料。標準跨距為6.4m寬，高度可自由調整。

㈡A型溫室

此溫室為亞熱帶與熱帶地區所設計，跨距為12.8m (2×6.4)，高度可自由調整。隨環控需要可加裝機械通風設備與水牆，結構係鍍鋅鋼材，屋頂，四壁利用抗紫外線之塑膠材料。

㈢Shelterhouse型溫室

此溫室適用氣候激烈變化之地區，其屋頂為可開啓式，跨距為4或8m，高度可變化，內部結構為鍍鋅鋼材。屋頂為滑動式，可裝置覆蓋材料或遮蔭網，屋頂之開啓部份可高達95％。

日本之玻璃溫室約佔總溫室面積4％左右，其餘96％為塑膠布溫室。在日本溫室發展中，由於其塑膠工業的迅速發展，其溫室材料與結構均已規格化，連棟溫室之間有良好排水槽，以避免雨水流入。通風系統之天窗與側窗均可裝置開啓機構，在側面有捲起裝置，共同配合

進行自然通風作業，在加溫方面爲節省能源，除了利用雙重塑膠布或自動遮簾裝置設備，更研究地熱交換系統，配合熱泵技術以進行環境內溫、濕度調整。在成本考慮因子下，利用離峰電力，配合蓄冰裝置以進行降溫工作。

由於觀賞作物之市場需求已朝向多樣化，多角化之生產方式，適用之設施覆蓋材料必須配合作物需求加以調整，因此結構骨架固定，覆材容易更換之塑膠布溫室其發展潛力爲之增大，以塑膠布溫室謹佔全國溫室面積 1 %之荷蘭而言，已制定塑膠布溫室之施工標準，並加以鼓吹爲國際施工典範。國內花卉業者採用塑膠在溫室之面積逐漸增加，但對多數人而言，對於溫室設施存有特定之誤解；認爲玻璃溫室即代表精密溫室，而塑膠布溫室即代表簡易溫室，因此此種溫室無法進行環控，亦無法承受強風暴風。形成此類誤解之主因可說明如下：

1. 國外新近進口之荷蘭產電腦控制溫室以玻璃爲覆蓋材料，因此造成多數人認爲精密溫室必須以玻璃爲覆蓋資材。事實上有許多種具布複雜環控裝置之溫室係以壓克力板，PE浪板或PVC塑膠布組成(如日本)。而玻璃溫室亦有只具天窗開啓或側窗開啓利用人力操作之簡易控制裝置，並非所有玻璃溫室都有複雜之環控設備。
2. 精密性並不等於氣密性，氣密性良好的溫室有兩大優點：⑴密閉加溫作業時熱能不易自空隙逸出，⑵進行水牆降溫作業時可維持作業效率；但在高日照地區由於氣密性往往造成嚴重之熱累積問題。
3. 國內的多種園藝設施如遮雨棚，或溫網室等其結構十分簡單，因其覆蓋材料爲塑膠布，因此往往被誤導歸類於塑膠布溫室，造成塑膠布溫室即爲簡易、簡陋之印象。

I 、塑膠布溫室之結構

針對台灣之氣象特殊問題，國內研究單位於農業自動化研究項目內所開發適用國內之兩型塑膠布開放式溫室規畫如下：

(1)溫室骨架與連棟支持物爲輕型鋼或鍍鋅鐵材以做爲基本結構。

(2)地基爲混凝土，以固定支撐結構，達到抗風效果。

(3)覆蓋物有多重選擇，屋頂可用塑膠布或其他浪板等材料，兩側利用捲揚裝置，周壁可裝設防蟲網。

(4)可裝設各型環控設備，包括內外遮蔭網，兩側捲起裝置，溫室上方裝設風扇，內遮蔭網下方裝設固定噴霧設備，爲適應特殊作物的需要，可裝設噴霧型水牆。上述設備之操作可利用人爲作業或進行自動控制。

(5)此型溫室主要以開放狀態作業，兩壁打開以避免溫室之熱累積，並可因外界風力驅散累積熱氣。周壁於需要加溫作業時亦可放下以利用太陽光直射能源進行加熱（溫室效應之應用），在寒流來襲時，可再利用柴油燃燒型之熱風產生裝置加以加溫。

(6)由於其周壁爲開放型，機械通風裝置位於內遮蔭與外遮蔭網之間，因其作業空間小，利用小風扇即可，因此節省作業能源。

開放型溫室因其屋頂結構分類爲太子樓型與密閉屋頂型兩種。其環控方式與其結構特點說明如下：

(1)太子樓式屋頂

其利用特性：

A.由於屋頂爲開放式，配合兩側捲起，使溫差產生之自然通風效果良好。此外利用內遮蔭網作業，可使熱氣集中於屋頂與內遮蔭網之夾層中間，再因熱空氣上昇作用逸出溫室，產生降溫效果，在夏日強日照時，溫室內部溫度僅高於大氣1～5℃。

B.利用機械通風的降溫效果有限，僅能使室溫接近大氣溫度。

C.內遮蔭網下層裝置通風風扇，因開放周壁而無大風壓，對降溫效果影響不大，此型溫室不應採用。

D.冬日需要加溫時，太子樓頂影響了加溫效率，對加溫需求之作物，太子樓頂加裝活動式遮簾可形成密閉作業，以進行保溫作業。

E.由於太子樓屋頂之開放結構，此型溫室所能承受之風力較弱，不適合風力強型之地區。

此類太子樓型塑膠布溫室主要之環控作業以內外溫度差之自然通風爲主，利用兩側捲起之高度可以有效的控制溫室內部溫度以避免嚴重熱累積。

(2)密閉屋頂型溫室

此類溫室利用特性如下：

A.因屋頂爲密閉型，無法產生因煙窗現象之自然對流風量，唯一之自然通風效果取決於外界風力產生之風壓，但在周壁安裝有防蟲網時，因風阻係數增加而非完全開放狀態，影響了自然通風作業效果。

B.風扇裝置於內遮蔭網與屋頂之間，利用機械通風之效果對降溫之效果良好，可使溫室內溫度接近大氣溫度，在利用上，下兩層遮蔭，配合機械通風作業時，溫室溫度可略低於氣溫（1～2℃），此原因在於：

(A)下層空間之植物吸收部份太陽能量。

(B)上層抽氣使底層空間最高溫（接近內遮蔭網）處熱累積透過遮蔭網間隙被抽離。

(C).溫室內部以長波形式向外界放射輻射能。

C.利用噴霧設備進行降溫時，此型溫室固定噴霧設備安置於內遮蔭網下方。在具有上層通風作業時，上層空氣的流動對下層空氣產生吸力，使下層空氣通過內遮蔭網至上層空間，流動空氣與噴出霧粒混合產生蒸發冷卻效應，此霧化空氣取代原空間靜置部份空氣，產生降溫效果。但是上層未有機械通風時，此噴霧作業僅能藉由自然風力進行降溫作用，無風力作用時，噴霧之環控能力不良。此種噴霧作業之作業效率約爲30～50％，比利用水牆之作業效率（70～80％）低，但因噴霧作業可使內部相對濕度值提高，疏解葉面熱應力。若改用噴霧型水牆配合兩側塑膠布放下形成密閉，其降溫能力更高。

D.冬日加溫作業時，因爲上層部份的密閉性，配合兩側的封閉狀態，可減少加熱能源的散失。

E.由於結構的嚴密性，此型溫室所能承受之風力較大。

而太子樓型屋頂溫室與密閉屋頂型溫室其特性列於表一。

表一、兩型開放式塑膠布溫室之環控性能

性能＼分類	太子樓頂	密閉屋頂
自然通風	性能良好	幾乎無通風效果。
機械通風	降溫效果比自然通風好，但效率低於密閉屋頂型。	利用小風扇，效率高。
噴霧降溫	比外界氣溫差值爲-1 ～ 2 ℃	比外界氣溫低 1－3℃
密閉降溫 (兩側已放下)	有自然通風作用，效果較低。若需維持高溫，太子樓需加覆蓋物。	利用溫室效應良好。
加熱器加溫	太子樓頂需加裝密封覆蓋物。	可密閉加熱
適用地區	1.低風力區 2.作物需求溫度與大氣溫度相近。	1.強風力區 2.作物需求溫度略低於大氣溫度。
適用栽培作物 (未考慮成本收益)	配合環控能力與作物需求環境加以抉擇。	同　左
使用成本	較　低	較　高

(3)開放型溫室之多重選擇

由於栽培作物的生長環境需求與栽種地區之氣候特性影響，開放型溫室之結構與環控設備可有多種選擇：

A.結構方面：

通常之溫室爲長方形，前後密閉而兩側可捲起，亦可興建爲四面周壁皆開放之正方形溫室。但因四周開放，內外溫差引起之煙窗效果不良，在自然風力不强地區，自然通風能力不佳。

B.環控設備方面：

依作物生長之溫度，濕度與日射量需要，可選用各種環控設備加以組合：

a.日照量控制方面：可裝設內外或多重遮蔭網，在只裝設一層遮蔭網時，以內遮網爲主，其目的在於形成一隔絕空間。

b.溫、濕度控制方面：因作物需求與地區特性有各種選擇，例如：

(a) 自然通風：太子樓型屋頂為主。

(b) 機械通風：密閉屋頂為主。

(c) 自然通風配合噴霧設備：適合太子樓型溫型，噴霧間隔與噴霧量需配合自然通風量以達到充份混合效果。

(d) 機械通風配合噴霧設備：

(e) 機械通風配合噴霧型水牆：必須在密閉屋頂兩側周壁放下狀態下進行。

溫室利用通風以調節內部環境之方式有兩種：自然通風與機械通風。機械通風需要利用風扇等機械設備，且耗用能源，自然通風以內外溫差或自然風力為驅動動力，在遮雨棚部份章節討論。

溫室之光照(或日射量)可以以多重遮蔭網進行調整，國內最常用之設備為內、外遮蔭網，遮蔭網位置對內部環境之影響，亦在遮雨棚部份加以討論。

II、環控設備

環控設備其內容主要有下列四項：

A.機械及裝置：內外遮蔭網、天窗、側窗、兩側捲起等機械裝置、噴霧裝置、風扇及水邦浦等。

B.環境感測器：包括溫度、相對濕度、風向、風速、日照能量、雨量、二氧化碳濃度等。

C.控制裝置：開閉式，數位式開關，類比及數位控制器等。

D.決策與控制軟體：依據感測訊號進行決策判斷，指揮控制設備的作業方式。

設施內部環境受到外界大氣條件，本身結構與環境控制設備三者之影響，在執行環境控制作業時，比較內部環境條件與設定目標，若兩者的差異值高於一定之數值，控制系統即指揮環控設備執行控制作業，使內部環境修正接近設定目標。基本的控制概念如圖1所示。

溫度、濕度、日照量等環境因子彼此互有關連，變動一項因子往往影響其他因素，因此兼顧各項要求條件之複合環控技術成為設施環控之研究重點。其他環控方式包括局部環控及作物反應環控等。

(1)環控設備

設施生產所利用各種環控設備介紹如下：

A.遮光材料

用以使入射至溫室內日照光線減弱的溫室資材，可用的材料包括遮蔭網，黑幕與寒冷紗等，除可減弱日射能量，對於透過光線之波長也可加以調整，以適用各種作物成長需要，因其裝設位置可分為外遮蔭與內遮蔭兩種。

B.兩側捲起裝置

適用塑膠布溫室之特殊環控設備。此型塑膠布溫室兩側並未固定，係裝設兩側捲起裝置，以捲起方式控制兩側開口高度，以執行自然通風作業。捲起動作可利用手動或機械動作。

C.太子樓頂

適用亞熱帶，熱帶溫室之特殊溫室屋頂結構，其主體為固定開放式屋頂。配合兩側捲

起裝置，可執行自然通風作業，因其結構屬於開放式系統，對於強風之抵抗性較差。

D.風扇

溫室用以強制換氣之通風設備，依其型式主要有兩型：大風量型與加壓型。依其換氣方式可分爲內外換氣與溫室內循環兩種，在特殊用途風扇方面，有屋頂垂直抽氣風扇。

E.水牆(Pad and fan)

在密閉良好的溫室，一側裝置水牆，利用流水通過多孔性物質。在另側裝置强制性吸氣風扇，使外界空氣通過水牆後，進入溫室內部進行降溫作業。其作業能力受到大氣濕球溫度的限制。在國內使用時，水牆吸水物質之青苔生長與流水雜質容易降低其作業效率。

F.噴霧設備

在溫室內產生霧粒之設備，促使細霧與溫室內空氣混合，達到降溫效果，其設備較水牆簡易，但降溫效率低。

G.噴霧型水牆(Mistting and fan)

由農試所農工系開發完成，利用噴霧裝置取代水牆(Pad and fan) 。由於風格之特殊設計與所需水量之精確計算，此裝置之功能與水牆相同，但是可克服水牆之原缺點，其成本約爲水牆三分之一。

H.人工照明

利用人工光源以控制作物生產之設備，依其光源有白熱燈、高壓鈉燈、螢光燈等三種，可依作物所需光線波長加以選用。

(2)環境調整方法

溫室內部環境調整所用方法介紹如下：

A.溫度：

(a) 昇溫：可利用設施密閉性形成溫室效應，使日光能量在設施內形成昇溫作用。人爲加熱可利用燃油加熱或熱水管等導入設施內部以提高溫度。

(b) 降溫：

a. 減少日照能量：遮蔭網。

b. 自然通風：開天窗，側窗，太子樓方式。

c. 强制通風：以機械風扇進行內外氣交換。

d. 蒸發冷卻：水牆，細霧等利用蒸發冷卻原理之設備。

e. 冷凍通風：冷氣機等。

B.濕度：

(a) 加濕：利用直接噴霧或加濕器等設備。

(b) 去濕：利用除濕機或配合外界通風作業。

C.光線：

(a) 減弱：利用遮蔭設備。

(b) 補充：利用人工光源。

D.空氣成份：

(a).增加：補充CO_2或乙稀等濃度。

(b).減弱：稀釋CO_2或乙稀等濃度。

由於環境因子交互干擾，例如利用蒸發冷卻可降低溫度，但也提高了相對濕度。利用加熱器提高設施內溫度，而相對濕度爲之減少，因此在兼顧各種環控需求條件下如何執行各項環控設備，此爲環控之關鍵所在。

(3)溫室控溫限度

溫度環控能力係指環控設備對溫室內微氣候溫度的控制限度，以設施內溫度之控制爲例，各環控設備的控溫局限說明如下：

A.充份遮蔭之開放型設施：

因無溫室效應，最佳狀況可低於外界大氣溫度1.0 ℃左右。

B.通風

在每分鐘1.5倍空間通氣量情況下，內部氣溫與大氣溫度相近。

C.蒸發冷卻

所能降溫之極限介於大氣乾球與濕球溫度之間，無法低於濕球濕度，其降溫能力受到降溫設備之機械效率所影響，在國內氣候條件下降溫效果如下：

A.利用固定型噴霧設備，可低於大氣溫度2～4 ℃。

B.利用水牆(Fan and pad)，或噴霧型水牆(Fan and misting)，可低於大氣溫度5～7℃。

由於大氣濕球溫度變化量少，由此可知28～29℃幾乎可稱爲台灣地區利用蒸發冷卻方式降溫的最低溫度控制限度。

(4)環境控制系統與策略

環境控制可利用人爲經驗判斷，以人力操作各控制設備以控制內部環境，但是精確之控制必須藉助自動化技術加以完成。

在設施環境控制自動化作業中，由內部微氣候因子與設定目標比較判斷後，再指揮各控制設備進行環境調整。在此種控制作業中，指揮動作的優先次序成爲環控作業準確性的依據。換言之，環控策略擔任控制系統內“智力”之角色，用以執行判斷，決策與指揮作業。

環境控制因子控制的對象愈多，所需的控制設備亦增加，環控策略（軟體部份）與控制系統（硬體部份）更加複雜，成本亦爲之增加。環控策略依其複雜性與控制精密性，與其相對利用之控制設備分別介紹如下：

A.開閉式(ON／OFF)控制

以降溫爲例，在內部溫度超過設定點後即啓動風扇進行强制通風，在低於設定點時即停止。此種方式具有簡易，成本低廉之特點，但是控制精度較低。另一型利用電子控制之作業類似開閉式控制，因具有設定範圍與上下限調整裝置，因此其控制精度高，性能較穩定。

B.多段控制式

對單一環境因子進行多組設定點控制，例如風扇可以有低，中與高速三種控制方式，或是依序控制風扇動作數目。

C.邏輯控制

將輸入訊號轉爲數字訊號後，內設邏輯控制線路，依邏輯程序之判斷，指揮不同的環控設備。此種設備因其組件爲工業規格產品，性能穩定，成本低，爲國可商品化之產品。

D.前授式與後授式控制策略（Feedback and feedforward control）

此型控制策略與回授式控制主要的相異點在於其利用溫室環境模式，依外在環境之變化預先計算內部環境之未來可能變化，再依變化量調整控制設備以預先執行環境控制。此種前授式控制適用於長時間，大調整量之作業。在外在環境趨於穩定狀態時，再以回授式控制檢查設定情況與實際情況的差異性，進行短時期小量的調整。兩者控制技術之結合使控制結果更爲穩定而無振盪現象，縮短到達預設目標的時間。此種控制策略需要以微電腦設備才能執行。

(5)設施環控用感測器

在進行自動化作業之前，必須對於周圍環境與機器設備之現有動作狀態有所察。用以測知各種狀態之作業稱爲感測，擔任感測之元件稱爲感測器。感測的精確與否，對控制作業之性能影響極大。

感測系統主要包含感測器、信號處理、及信號傳送。在進行感測作業時，被感測的對象對感測器之元件部份產生刺激，使感測元件因反應而有訊號發生；由於信號通常十分微弱，或是參雜其他信號，因此必須由信號處理部份加以整理。感測器的位置與控制部份通常有一段距離，因此信號需經導線或是無線傳送至控制器。

農業上同一量測對象往往有不同之感測設備，感測器應該考慮的因子如下：

A.適用的範圍：以台灣溫室爲例，溫度量測範圍約在5～60 ℃之間。

B.準確性：所需量測對象之準確度，例如溫度± 1 ℃，相對濕度(RH) ±3 %。

C.反應時間：感測器正確感測眞實狀態所需時間。

D.工作環境：環境之溫、濕度、灰塵、振動等。

E.經濟條件：

感測系統的信號處理包括信號的檢查、放大及過濾等。在農業感測上最常遭遇的問題爲信號衰減及雜信侵入，因此在量測時，必須針對信號輸送的距離與品質，量測信號之種類（電壓或電流）加以考慮。

感測器的校正十分重要，尤其在農業環境下使用之感測系統，通常在使用之前應校正一次。

農業常用的感測器介紹如下:

A.溫度計

溫度計爲農業環控最主要的感測設備，傳統利用之設備係以熱力學性質開發而成，如利用水銀、酒精膨漲原理製作而成之液體溫度計，或是以金屬片受熱變形原理完成

之雙金屬溫度計。而常用於自動控制之溫度計係利用元件之電子性質製作而成。

在設施自動控制系統之應用上，主要以電阻式溫度計爲主，尤其在感測點已固定，溫度計不需多置之作業應用範圍，其感測元件以白金PT－100爲主。

B.日照能量感測器 Pyranometer

此種設備用以量測日照之能量,以作業原理分爲兩類：

a.熱電堆（Thermopile）

主要感測元件係利用特製之熱電偶分別量測不同顏色覆蓋材料下之能量吸收差量，因能量吸收引起之溫度差，以產生電壓。準確性高，但售價昂貴。

b.光電池（Photo cells）

利用光電池之光電效應引起電子流動而產生電場，以電流輸出，其反應光譜爲400－1,100nm之間。利用光電池原理開發而成之日照計經校正後可應用於農業環控系統，國內廠商已有此自己生產能力，售價低廉。

良好的日照計必須說明其校正所用的設備及其標準等級。

C.光合作用有效能量計 Photosynthetical Active Radiometer (PAR)

用以量測植物光合作用時所需之有效光能量，其波長主要在於400 -700nm之間,以短波的量測爲主，亦可利用全日照能量感測器加以波長過濾以進行量測。

D.空氣相對濕度感測器 RH Meter (Hygrometer)

相對濕度量測器通常以乾、濕球溫度量測方式加以執行，其精密度往往受到濕球量測準確性與相對濕度換算表的限制。近年來，電子濕度計開始爲農業環控系統所利用，主要的應用方式有電容式濕度計與電阻式濕度計，準確性相近。前者適用範圍較廣(10～95％RH)，但成本較高。後者適用範圍爲20～90％RH，成本較低。

III、農產品內部作業設備

設施栽培的內部作業項目自整地、播種至收穫、運銷等，均需要系統性的管理設備，此種完整的作業系統通稱爲作業體系。

設施內直接種植於土地，在土壤整理方面，包括整地、築床、作畦、土壤消毒與施肥等作業，利用植床盆栽時則需要消毒及上盆等作業。

種植作業方面，需要配合育苗項目包括介質粉碎、混合機穴盤充塡及播種等設備，幼苗移植需有移植機。

管理工作項目包括灌溉、追肥、病蟲害防治、疏果（花）、整枝、摘葉、立支柱及調整支持網等項目，目前僅有前三項已使用機具。

收穫工作包括果實摘取、切花及搬運等項目，目前除運搬工作可有機械設備配合外，其餘工作項目仍以人工爲主。

收穫後處理包括分級、選別、預冷、花卉去葉及除刺等工作，目前已有適用設備，常以組織共同生產班的形式配合經營。

由上述可知，完整之作業體系需有各型機械設備加以支援，而爲增加作業項目之精確度與減少勞力需求，自動化設備與控制系統必須加以引入配合。有些利用於露地栽培的設備如

中耕機等可直接在設施內使用，而有些特殊用途的設備則有待開發，如收穫機械。

表二、設施栽培內部作業設備

作業項目	內容	作業機械	自動化情況
育苗	床土準備	介質粉碎機、混合機	有
	穴盤充填	充填機	有
	播種	播種機	有
	嫁接	嫁接機械人	研究階段
	上盆	上盆機	有
	積箱、排箱	積排箱設備	有
田間準備	土壤消毒	消毒機	有
	整地	中耕機	
	施堆肥	堆肥撒佈機	
	立支柱	人工	
種植	搬運	搬運設備	有
	移植	移植機	有
管理	灌溉	灌溉設備	有
	追肥	施肥設備	
	疏果	人工（果挾輔助器）	
	整枝	人工	
	摘葉	人工	
	支柱調整	人工	
	病蟲害防治	各型防治機械	有
收穫	摘取	人工	
	切花	人工（花剪轉助器）	
	搬運	搬運設備	有
收穫處理	分級	分級機（大小）	
	選別	選別機（顏色）	
	預冷	預冷設備	有
運銷	包裝	包裝機械	
	拍賣	拍賣市場	
廢棄物處理	養液	再處理設備	
	塑膠布	粉碎機	

設施內所使用較重要且具有多樣化之作業設備介紹如下：

1.灌溉

設施內主要的灌溉方式分類如下：

A. 地面上之灌溉方式，包含：

a. 噴霧

b. 地面噴灌

c. 葉面噴灌

d. 滴灌

e. 底面灌溉（淹灌）

B. 地下灌溉

a. 地下給水

b. 地下點滴灌溉

灌溉採取之方式常因栽培方式（盆栽或苗床）及作物需求等因素有所不同，對個別作物可採用滴灌作業。底面灌溉法則是一次同時施加灌溉。

灌溉方式與設備的選擇所需考慮的條件如下：

(a) 栽培作物與其栽培方式之特性，以求給水均勻化。

(b) 水源與給水方式之配合。

(c) 是否妨害其他內部作業如搬運工作等。

(d) 設備之耐久性與設置成本。

(e) 設備能否自動化。

由於農業勞力之日益缺乏，設施栽培作業中，灌溉自動化作業亦已有多種控制設備可加利用。近年來，施肥與灌溉合一之肥灌 (fertiligation) 技術已開始應用。在自動控制之感測方面，除針對土壤水份進行量測，藉感測作物生理反應以執行灌溉之控制方式爲未來發展重點。

噴霧法係利用細霧噴頭噴出霧粒水滴執行灌溉之方式，主要應用於花木扦插，苗木繁殖與蔬菜育苗上。主要特點在於細霧分佈範圍廣，只需利用低壓達成，容易以間續式執行。在自動控制方面，除了原來利用時間設定方式外，目前之新型感測系統分爲兩類：

A、量測有效光合作用能量計，計算其能量累積量以執行灌溉。

B、利用葉面型吸濕材料以感測空氣濕度，因濕度之增減影響葉面材料之重量，再依槓桿原理操作噴霧設備。

滴灌作業方法常爲國內外所利用。自動化之主要設備包括導電度(EC)及酸鹼度(pH值)感測器，配合電腦自不同濃度的養液筒抽取溶液進行調配混合作業。滴灌溉之設定除了以時間或日照累積量判斷之外；在相對濕度太低時，則縮短原固定設定之時間間隔。此方式對避免葉面累積水滴之作物最爲適用。

淹灌法以生產作物盆栽爲主。可應用於苗床或是地面；灌溉水自水管漫出，淹至盆栽8-10公分左右之深度，在一段時間後自第一區排出以淹浸另一小區。由於每盆都浸於水中，所受的水量一致且可強迫根部向下發育，更可避免因積水而引起病害問題。由於各小區的

浸灌作業依序進行，所需水量十分節省。灌溉控制策略目前係以經驗考慮，定時實施淹灌。然而此法在本省環境中使用時，應評估有無病害傳染問題值得研究。

地面噴洒法爲設施內最常用之方法，通常爲固定式，位於植床上方之固定設備，利用噴頭向下噴灑，其控制方式通常僅爲時間設定。

直接噴洒法利用噴嘴直接洒水於葉面，適用作物爲觀葉作物與葉菜類，自動化作業之需求不高。

2. 病蟲害防治作業

病蟲害防治工作在生物，物理性等非化學藥劑方法尚未實用之前，仍以施藥爲主，溫室內常用的方法如下：

(1)人員背負式：

以人力背負藥筒進行施藥。

(2)高壓噴霧器與施藥管

利用固定地面之高壓噴霧邦浦配合溫室內管路作業。

(3)懸掛自走式

施藥裝置懸掛於上方，以噴頭向下噴洒藥劑，可以以無人方式操作，懸臂運動裝置同時可提供爲噴灑灌溉之用。

(4)固定式高壓微粒施藥設備(Fogger)

此種設備在歐美溫室內使用十分普及，固定懸掛於溫室上方，利用高壓空氣與超音波使藥劑微粒化，再以强風吹入室內。因爲無人操作，對人員危害小，又因藥劑之微粒化，可充份分佈作物體上，達到施用效果。

3. 內部搬運設備

溫室與設施內部之資材、肥料、收穫物等物品的搬運作業亦是耗費人力的工作項目，其改良方法除了利用简易手推車以輔助人力，亦可利用手動液壓行走車，除了以人力拖曳之外，可利用液壓動力以減輕物件上下搬運的負擔。對於收穫物則可利用特製的台車。溫室內部的搬運作業，除了以地面鋪設軌道方式以行走台車之外，利用溫室上方空間的懸掛式搬運設備在歐美溫室廣泛利用。由於國內設施結構尚未規格化，因此影響此型設備的研製發展。

4.廢棄物處理

設施栽培如同傳統露地栽培，也產生各種廢棄物，而其特殊之癈棄物如養液栽培廢棄液，使用過之介質(如岩棉)與各類塑膠覆蓋材料等。

目前採用有關廢棄物之解決方案說明如下：

A.養液類：開發再處理設備，使業者得以回收再利用。

B.固體介質：開發可分解之栽培介質，而歐洲各溫室生產國家則將禁用不能分解之介質如岩棉等。

C.塑膠布：

a. 洗淨再生：此方式之作業流程有收集、去除雜物、粗碎、清洗、細碎、脫水乾燥、

再造粒。

b. 不清洗再生：作業流程爲回收，去除雜物，粉碎，以化學物溶解，再生。

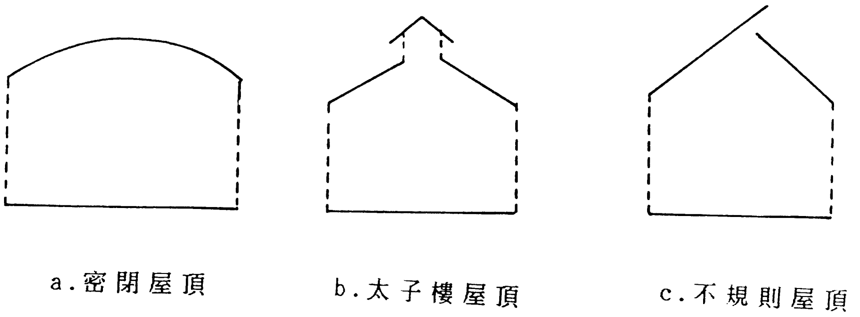
c. 燃燒處理：其作業流程爲回收，去除雜物，破碎，添加其他成份，燃燒成固形化燃料，或直接燃燒生成能源利用。

d. 掩埋。

二、遮雨棚

此種設施其結構有固定式和可移式。前者類似塑膠布溫室，利用輕型鋼材爲骨架，屋頂可用鍍鋅鐵管或金屬樑架加以披覆PVC、PE或浪板等覆蓋材料，後者主要以鍍鋅管直接插入泥土內加以固定。此型設施其主要功能在於防雨，因四周無牆壁，冬日無法以加熱器加溫。

遮雨棚之屋頂有密閉型與部份開放型，其開放方式又可區分爲太子樓式，不規則屋頂式與鋸齒式(圖一)。由於此型設施結構單純，未加裝機械環控設備，僅有的環控功能僅有自然通風，因此在此章節之主要內容即以自然通風之介紹爲主。此外爲調整設施內部的日照量，國內業者往往加裝內外遮蔭網，遮蔭位置對設施內部氣候的影響在此章節加以說明。



圖一、不同屋頂形式之遮雨棚

㈠自然通風

溫室或設施實施通風之目的在於導入外界的空氣以取代原來內高溫或高濕的空氣，通常有機械通風與自然通風兩種。自然通風的特點在於不需風扇設備與電力等外界能源，使用成本低廉。其產生的驅動力量來自溫室內外溫度與外界風力，此效果可以以煙窗效應與風壓效應加以說明：

1. 煙窗效應

在溫室內部空氣溫度高於外界時，因密度的不同，熱風向上，外界冷風流入，熱空氣向上排出，熱風排出量的大小與天窗開口面積成正比，與入出口高度差與內外溫差之乘積平方根成正比。

2. 風壓效應

設施受外界風力作用時，向風面爲正壓力，背風面容易產生負壓，由於壓力差而

使外界風力進入室內，其通風量與風壓係數，開口面積成正比。

通常外界風速每秒少於一公尺時，以內外溫差為自然通風的主要動力源，風速大於二公尺／秒時，風力為主要動力源，風速於兩者之間時，為混合效果。

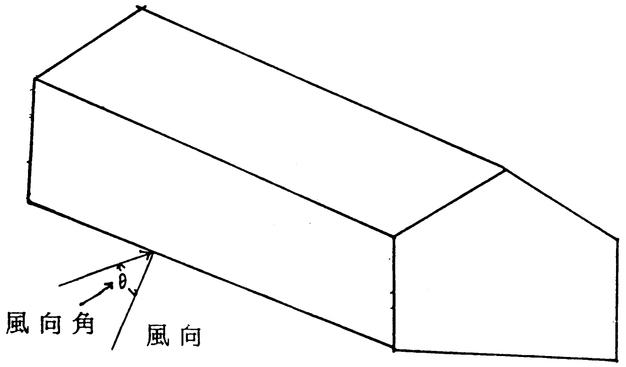
自然通風對遮雨棚等設施之影響依其結構加以說明：

(1)密閉屋頂型

對於無太子樓等開口之密閉屋頂設施，在無風狀態下，因熱空氣累積於屋頂下無出口可排出，內外溫差引起的換氣效果僅在兩側作用，對設施室內中央部份幾乎無換氣能力，造成嚴重的熱累積。

在風力足以推動設施內部的空氣時，在設施通氣下產生層流流動，但是通氣層上空間所累積熱幾乎不受影響，在風力減弱時，累積熱量又擴散至底部。因此在風力與風向不定地區，設施內部常有高溫現象。

風力與風向相關，在風向固定地區，設施所在方向與風向之角度最好維持在0～30度(0度表示設施之縱徑方向與風向垂直)。風向角度如圖二。



圖二、風向角

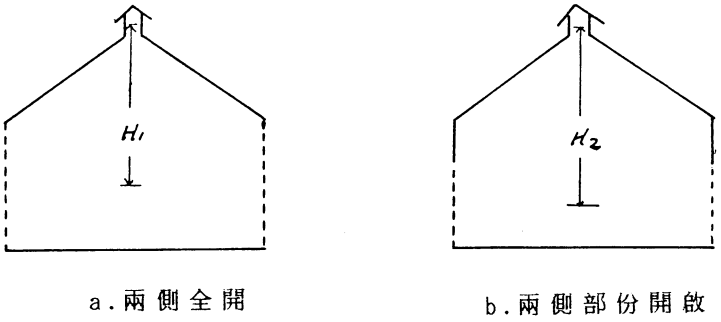
利用連棟設施栽培時，若因連棟造成全部設施橫向太長，外界的風力因摩擦力與內部作物等因素影響，風力將逐漸減弱，造成下風位置內部溫度高於上風位置。而有些業者將工作間安置於下風口，興建周牆而阻擋風力流動，使藉風力進行內外換氣的效果大為降低。

(2)開放式屋頂

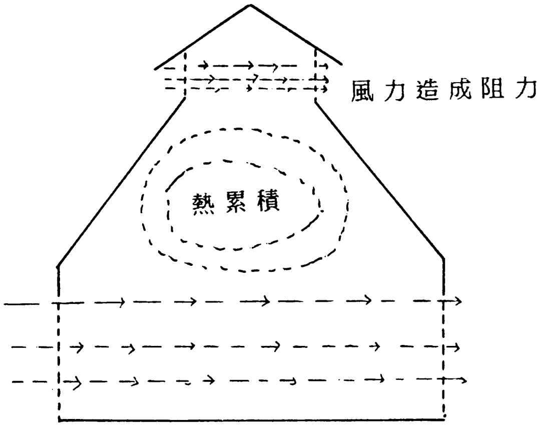
在利用溫差進行換氣時，太子樓屋頂與不規則屋頂因於屋頂上方具有開口，累積溫室上方的熱氣得以排出。增加溫差換氣的能力因子主要在於增加進出口面積與增加上方開口點與底部開口點之高度(增加溫室高度或屋頂斜率)。但是溫室高度過度的增加引起了結構問題。此外兩側全開時其煙窗效應反而小於兩側部份開啓(圖四中H1小於H2)，但兩側開啓不足則熱累積更趨嚴重，因此太子樓溫室(設施)兩側最佳開啓高度有待研究。

對太子樓設施而言，以風力作用進行自然通風之風壓效應僅對下方有效，累積於

設施上方的熱氣無法隨風力排出，其效果與不具開口的密閉屋頂型設施相似(圖四)，其原因主要在於太子樓屋頂向風與背風面的開口面積相同，上方風力自天窗通過，形成風牆反而阻止熱氣流出。在風力停止時，熱氣再度擴散至設施底部。因此對太子樓開口之兩端裝置自動控制之擋風板以提高風壓效應爲值得研究之主題。



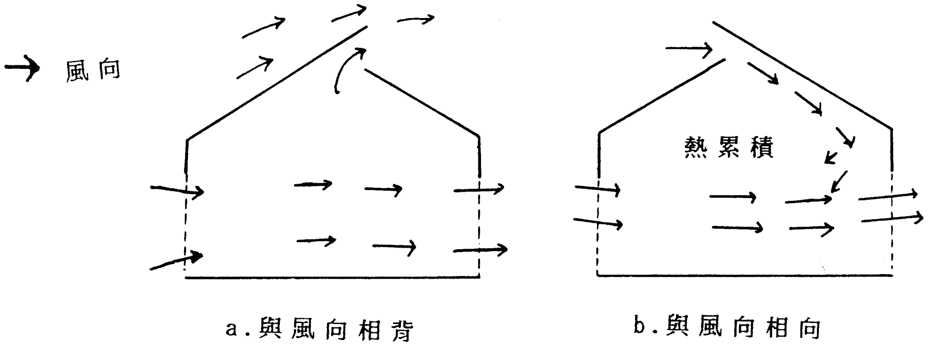
圖三、太子樓屋頂兩側開放啓高度之影響



圖四、太子樓設施外界風力之作用

不規則屋頂的風力自然通風效果受風向所影響，風向之決定了通風之成敗，如圖六所示，開口方向背向風時(圖五a)，背向一形成負壓，對設施上方產生吸力，使累積熱量得以排出。若方向錯誤(圖五b)，上方進入之風壓與下方風力平衡作用反而使內部空氣產生停滯，造成嚴重熱累積。而在下雨時，雨水容易隨風力進入設施內部，失去了遮雨棚的原先效果。

對屋頂開啓的連棟溫室而言，棟數愈多，換氣能力愈差，因此數棟之間有必要留置開口。



圖五、不規則屋頂之設施其受風向影響

㈡遮蔭網設置

對遮雨棚而言，裝置遮蔭網的目的在於減少日照量(光度)，而也影響設施內部的溫濕度，遮蔭網位置對設施微氣候之影響介紹如下：

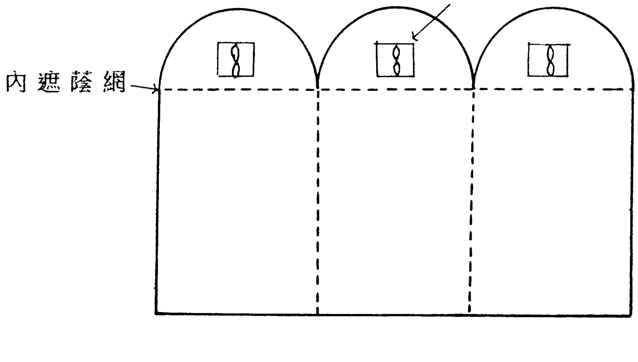
1. 密閉屋頂

對密閉屋頂而言，在相同遮蔭率之下，陽光透過外遮蔭或內遮蔭到達地面的強度相等，但因內遮網裝設於內部，使設施內上層的熱累積量受遮蔭網的阻隔不易在自然通風時散至外部，因此熱累積較外遮蔭嚴重，因此密閉屋頂之設施主要以外遮蔭為主。

2. 開放屋頂型

對太子樓溫室而言，不論內遮蔭或外遮蔭，對於到達地面的陽光強度也相同，但是由於上層的熱累積有散逸出口，利用內遮蔭作業，對上方熱累積有阻絕作用，造成底部局部微氣候溫度較低，利於作物成長，而內遮蔭另一優點可免風力損害，使用期較長，因此太子樓設施主要利用內遮蔭。

在充份通風狀態下，內外遮蔭效果相同，因此在屋頂裝置機械通風之設施，可利用內遮蔭，以配合改善通風性能(圖六)。



圖六、利用內遮蔭網配合風扇作業

三、參考文獻

1.王鼎盛. 1993. 省製被覆材料之光透過率測析。臺灣花卉園藝72期：52-57。

2.陳加忠、陳志昇、黃照明. 1992. 溫室環境模式之研究(II)模式驗證與應用。中華農業研究41(1)：90-114。

3.陳加忠. 1992. 農用日照計之性能試驗與評估。中華農業研究41(2)：216-224。

4.陳加忠、陳志昇. 1992. 遮蔭裝置對溫室微氣候影響之研究。中華農業研究41(3)：382-404。

5.三原義秋. 1980. 溫室計設の基礎與實際。養賢堂。

6.日本施設園藝協會. 1983. 施設園藝ハソドブシク。日本施設園藝協會。

7.Baille, A., M. Baille and M. Tchamitchian, 1990. A simple model for the estimation of greenhouse transmission. Acta Horticulturae 281：35-46.

8.Giacomelli, G. A., K. C. Ting. and S. Panigrahi. 1988. Solar PAR vs. solar total radiation transmission in a greenhouse. Trans. of the ASAE 31：1840-1543.

9.Godbey, L. C, T. E. Bond and H. F. Zorning. 1979. Transmission of solar and long-wavelength energy by materials used as covers for solar collectors and grenhouses. Trans of the ASAE 22：1137-1144.

10.Grafiadellis, M. 1985. A study of greenhouse covering plastic sheets. Acta Horticulturae 170：133-142.

11.Jaffrin, A and S. Makhlouf. 1990. Mechanism of light transmission through wet polymer films. Acta Horticulturae 281:11-24.

12.Landgren, B. 1985. Aging tests with covering materials for greenhouses. Acta Horticulturae 170:119-126.

13.Ting, K. C. and G. A. Giacomelli. 1987a. Availability of solar photosynthetically active radiation. Trans. of the ASAE 30:1453-1457.

14.Ting, K. C. and G. A. Giacomelli. 1987b. Solar Photosynthetically active radiation transmission through greenhouse glazings, Energy in Agriculture 6:121-132.

15.Vanden Kieboom, A. M. G. and J. A. Stoffers. 1985. Light measurement and calculations. Acta Horticultrae 170:97-102.